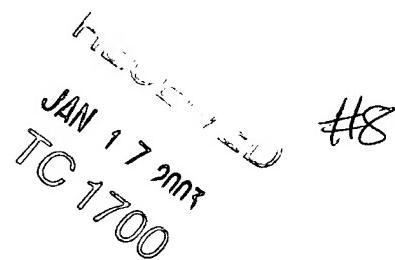


BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 198 12 562.3
Anmeldetag: 21. März 1998
Anmelder/Inhaber: Dr. Joachim S a c h e r , Marburg/DE
Bezeichnung: Beschichtungs-Verfahren und -Vorrichtung
IPC: H 01 S 5/028

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 14. November 2002
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident
Im Auftrag

Walter

P 856 - Ot/bo
20.03.1998

Dr. Joachim Sacher, D-35041 Marburg/Lahn

Beschichtungs-Verfahren und -Vorrichtung

B e s c h r e i b u n g

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung von Antireflexions-Beschichtungen (im folgenden auch als AR-Schichten bezeichnet) für Halbleiterlaser gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

Entspiegelte Halbleiterlaserdioden werden in modernen optischen Meßinstrumenten zur Gasanalyse und zur Interferometrie oder als optisches Radar eingesetzt. Weitere Anwendungen liegen im Feld der aktiven Lichtverstärkung.

Halbleiterlaser besitzen aufgrund des Brechungsindex-Sprunges zwischen Lasermaterial und Umgebung eine Reflektivität der Spiegelfacetten von typisch 32 %. Ein gängiges Verfahren zur Entspiegelung einer oder beider Laserfacetten ist deren Beschichtung mit einer dielektrischen Schicht einer Dicke, die dem Viertel der Zentralwellenlänge des Lasers entspricht. Der Wert des Brechungsindex wird gemäß dem harmonischen Mittel des Brechungsindex des Lasermaterials und der Umgebung gewählt. Bei geeigneter Kontrolle von Dicke und Wert des Brechungsindex der Entspiegelungsschicht können Werte des Minimums der Restreflektivität kleiner als 10^{-5} erreicht werden. In der Literatur sind hierfür mehrere Verfahren bekannt.

M. Serényi und H. J. Habermeier, beschreiben in *Directly controlled deposition of antireflection coatings for semiconductor lasers*, Applied Optics, Bd. 26 (1997), S. 845 ff ein Verfahren, bei dem der Laser elektrisch betrieben wird und die emittierte Lichtleistung beobachtet wird. Der Endpunkt der Beschichtung wird durch das Erreichen des Minimums der Lichtleistung bestimmt.

Bei einem Verfahren nach J. Landreau und H. Nakajima, *In-situ reflectivity monitoring of anti-reflection coatings on semiconductor laser facets through facet loss induced forward voltage changes*, Applied Physics Letters, Bd. 56 (1990), S. 2376 ff. wird der Laser elektrisch betrieben und die Spannung an seinem p-n-Übergang des Lasers beobachtet. Der Endpunkt der Beschichtung wird durch das Erreichen des Maximums der Spannung am p-n-Übergang bestimmt.

In dem Artikel *Real-time in-situ monitoring of antireflection coatings of semiconductor laser amplifiers by ellipsometry*, Annual Meeting of the IEEE Lasers and Electro-Optics Society (LEOS), Nov. 1991 stellen M. Dagenais und I-Fan Wu ein Verfahren dar, bei dem der Laser elektrisch betrieben und der Schwellstrom des Lasers während der Beschichtung beobachtet wird, deren Endpunkt man bei Erreichen des Schwellstroms festlegt.

Den theoretischen Verlauf der Laserkenngrößen erhält man aus der stationären Lösung der Lasergleichungen. Zur Bestimmung der optischen Laserkenngrößen muß man noch zusätzlich die durch die Antireflexions-Beschichtung veränderte Auskoppelrate berücksichtigen. Insgesamt erhält man die folgenden Zusammenhänge.

$$P = \frac{J - \gamma \cdot N + \frac{\gamma \cdot \kappa}{G_N}}{\Gamma + \kappa} \quad (1)$$

$$I_{th} = \gamma \cdot N + \gamma \cdot \frac{\kappa}{G_N} \quad (2)$$

$$\kappa = -v_g \frac{\ln(1 - r_2)}{2L} \quad (3)$$

$$1 - r_2 = \frac{(1 - r_{12}^2)(1 - r_{23}^2)}{1 + r_{12}^2 r_{23}^2 + 2r_{12}r_{23} \cdot \cos 2\beta} \quad (4)$$

$$\beta = 2\pi \cdot \frac{n_2 \cdot h(t)}{\lambda} \quad (5)$$

Hierbei sind: P die von der rückseitigen Laserfacette emittierte Lichtleistung, J die normierte Schwellstromdichte, γ die Elektronenzerfallsrate, N die Transparenzladungsträgerdichte, G_N der differentielle Gewinn, I_{th} die normierte Schwellstromdichte des Lasers, v_g die Gruppengeschwindigkeit des Lichts, L die Länge des Lasers, r_{12} die Reflektivität der Grenzfläche zwischen AR-Schicht und Laser, r_{23} die Reflektivität zwischen AR-Schicht und der Umgebung, $n_2 \cdot h$ die optische Schichtdicke der Antireflexionsschicht mit dem Brechungsindex n_2 und der geometrischen Dicke h und λ die Zentralwellenlänge des Lasers. Die anderen Laserparameter lassen sich nach dem gleichen Formalismus bestimmen.

Das Verfahren der *in-situ*-Beobachtung der Laserkenngrößen bei der Entspiegelung von Halbleiterlaserdioden ist herkömmlich auf die Beschichtung kleiner Stückzahlen beschränkt. Ein Grund liegt darin, daß die Zeitdauer, die man zum Erzeugen eines geeigneten Vakuums braucht, sehr viel größer ist als die Beschichtungszeit der einzelnen Laserdioden. Zur Befriedigung der Nachfrage hoher Stückzahlen werden jedoch schnelle Beschichtungsverfahren benötigt, die höchste Güte bei größtmöglicher Effizienz gewährleisten.

Das von M. Ettenberg et al. in US-PS 3,846,165 vorgeschlagene Verfahren, einen Laser als Monitorlaser zu verwenden und simultan mehrere Laser oder Laserbarren zu beschichten, ermöglicht zwar die Herstellung großer Stückzahlen von Entspiegelungen, liefert aber Ergebnisse, die für viele Anwendungen nicht genügen. Für höchste Qualitätsansprüche ist dieses Verfahren daher nicht anwendbar. Ursachen hierfür sind unterschiedliche Dicken in der Facettenpassivierung (Vorbeschichtungen) kommerziell erhältlicher Halbleiterlaser, ferner räumliche Variationen der gewachsenen Schichten bezüglich der Dicke wie auch des Wertes des Brechungsindex.

Moderne Hochleistungslaserdioden besitzen in der Regel eine Entspiegelungsschicht einer Laserfacette mit einer Reflektivität von typisch 5 % bis 10 %. Entspiegelung höchster Güte kann deshalb durch Aufwachsen einer einzigen Entspiegelungsschicht nicht erzielt werden. Zur Herstellung hochwertiger Entspiegelungsschichten ist es dann notwendig, entweder die Vorbeschichtung zu entfernen oder mindestens zwei Schichten von unterschiedlicher Dicke und unterschiedlichem Brechungsindex aufzuwachsen. In ihrer vorgenannten Veröffentlichung haben M. Dagenais und I-Fan Wu vorgeschlagen, zur Kontrolle des Entfernungsprozesses der Vorbeschichtung bzw. zur Kontrolle der aufge-

wachsenen Schichtdicken einen *in-situ*-Ellipsometer einzusetzen. Problematisch ist jedoch bei der Anwendung dieses Verfahrens neben den hohen Kosten des Meßgerätes, daß dieses auf einen Meßpunkt von typisch $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ einjustiert werden muß, was einem wirtschaftlichen Einsatz entgegensteht.

Es ist ein wichtiges Ziel der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung bereitzustellen, um die Herstellung von Antireflexionsschichten höchster Güte für Halbleiterlaserdioden bei hohen Stückzahlen mit wirtschaftlichen Mitteln zu ermöglichen. Insbesondere soll ein Minimum der Restreflektivität besser als 10^{-5} erzielbar sein.

Hauptmerkmale der Erfindung sind in Anspruch 1 und Anspruch 19 angegeben. Ausgestaltungen sind Gegenstand der Ansprüche 2 bis 18 und 20 bis 28.

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Herstellung von AR-Schichten mit *in-situ*-Beobachtung des von der Frontfacette und/oder Rückfacette des vom Laser emittierten Lichts, der elektrischen Spannung am p-n-Übergang des Lasers oder der Quanteneffizienz des von der Frontfacette und/oder des von der Rückfacette des Lasers emittierten Laserlichts oder des Schwellstroms des Lasers und sieht laut dem kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 vor, daß die Dicke der AR-Schichten durch den *in situ* beobachteten Verlauf eines Laserparameters bestimmt wird. Es werden also die beobachteten Meßwerte *in situ* z.B. mit den theoretischen Werten gemäß Gl. (1) oder Gl. (2) verglichen; hieraus wird unmittelbar die Dicke der jeweiligen Teilschicht bestimmt. Dieses hocheffiziente Verfahren ermöglicht es nicht nur, auf teure und aufwendige Meßgeräte wie z.B. ein *in-situ*-Ellipsometer zu verzichten, man erhält auch deutlich bessere Ergebnisse, da der zu beschichtende Laser selbst als Meßinstrument eingesetzt wird. Insgesamt wird dank der Erfindung erstmals eine Herstellung von Antireflexions-Beschichtungen hoher Stückzahl bei höchster Qualität möglich. Das neue Verfahren ist nicht nur auf die Dicke, der zuletzt aufgebrachten Schicht anwendbar, die Erfindung sieht vielmehr gemäß Anspruch 1 vor, daß es auf jede einzelne Teilschicht anwendbar ist, insbesondere durch Zeitverlauf-Vergleich nach Anspruch 2.

In den Ansprüchen 3 bis 11 werden Laserparameter benannt, die für das Verfahren benutzt werden können. Dies sind namentlich die Leistung des von der Front- und/oder der Rückfacette des Lasers emittierten Lichts, die Quanteneffizienz des von der Front- und/oder Rückfacette des Lasers emittierten

Lichts, die Wellenlänge des vom Laser emittierten Lichts, die elektrische Spannung am p-n-Übergang des Lasers und der Schwellstrom des Lasers. Im Rahmen der Erfindung kann einer oder können mehrere der Laserparameter zur Bestimmung der Schichtdicke einer oder mehrerer Teilschichten eingesetzt werden.

Weitere Ansprüche beziehen sich auf die rationelle Umsetzung des Verfahrens zur Herstellung von großen Stückzahlen von AR-Beschichtungen mit hoher Güte. Gemäß Anspruch 12 kann man mehrere Laser gleichzeitig in einen Rezipienten einbringen. In Anspruch 13 wird vorgeschlagen, weitere Laser mitzubeschichten, während bei einem Laser die Güte der Beschichtung überwacht wird. Dies unterscheidet sich von dem oben zitierten Verfahren nach Ettenberg et al. dadurch, daß dort ausschließlich auf das Minimum der Leistung geachtet wird, wogegen man beim vorliegenden Verfahren das gesamte Laserverhalten beobachtet, so daß man im Gegensatz zum Stand der Technik auch Qualitäten erzielen kann, die höchsten Ansprüchen genügen.

Eine erhebliche Verbesserung erzielt man laut Anspruch 14, indem alle Laser bis zu einem sicheren Wert der Schichtdicke gemeinsam beschichtet werden, worauf man die Schichtdicke jedes einzelnen Lasers mit *in-situ*-Beobachtung eines oder mehrerer Laserparameter optimiert. Hierdurch wird die hohe Qualität des Verfahrens auf die Produktion hoher Stückzahlen übertragen, was mit bisherigen Verfahren nicht möglich war.

Die Ansprüche 15 bis 18 definieren, in welchen Bauformen die Laser in den Rezipienten eingebracht werden. Insbesondere kann man gemäß Anspruch 15 alle Laser fertig konfektioniert einbringen. Eine Alternative besteht laut Anspruch 16 darin, daß mindestens ein Laser fertig konfektioniert ist, d.h. daß er als Laser im Rezipienten betrieben werden kann, während die weiteren eingebrachten Laser noch nicht fertig konfektioniert sind. Ferner können die nicht fertig konfektionierten Laser gemäß Anspruch 17 in Chipform oder gemäß Anspruch 18 in Barrenform vorliegen.

Die Ansprüche 19 bis 28 definieren wichtige Merkmale der Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens für die Antireflexions-Beschichtung von Halbleiterlasern. Die Vorrichtung besteht gemäß dem unabhängigen Anspruch 19 aus einem Rezipienten, der wenigstens eine Beschichtungsquelle, eine oder mehrere Halterungen für Halbleiterlaser, eine oder mehrere Blenden eine

Steuerungs- und Meßeinrichtung sowie Verbindungsleitungen enthält. Diese Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, daß jeder Beschichtungsquelle mindestens eine bewegliche Laserhalterung zur Beschichtung der Laserdiode zugeordnet ist. Vor der Laserhalterung befindet sich wenigstens eine Blende, welche bzw. die Laser wahlweise zur Beschichtung freigibt, was einzeln oder gemeinsam bewirkt werden kann.

Laut Anspruch 20 weist der Rezipient einen Magazinteil auf, in dem die zu beschichtenden bzw. beschichteten Laser enthalten sind, die in den Beschichtungsteil des Rezipienten überführbar sind. Diese Baugruppen – Magazinteil und Beschichtungsteil – können konstruktiv gleichartig ausgebildet sein.

Anspruch 21 beschreibt eine sehr elegante Form für diesen Überführungs-Vorgang, indem neben der Beschichtungskammer eine schwenk- und/oder verschiebbare Blendenhalterung angeordnet ist. Damit wird das Lasermagazin praktisch zu einem Teil der Beschichtungskammer; man benötigt also keine aufwendigen motorgetriebenen Schlitten oder ähnliche Mechanismen.

Von hoher Bedeutung für die erfolgreiche Umsetzung des Verfahrens ist, wie die Laser relativ zur Beschichtungsquelle angeordnet werden. Die Anordnung wird zweckmäßig den Beschichtungsparametern angepaßt, insbesondere an Aufwachsraten und Brechungsindex. Speziell ist es vorteilhaft, wenn alle Laser auf einer Linie mit identischer Beschichtungsrate und identischem Brechungsindex liegen. Vielfach sind die Beschichtungsparameter bezüglich der Beschichtungsquelle rotationssymmetrisch. Anspruch 22 sieht hierzu vor, daß die Laser ring- oder kreisförmig angeordnet sind. Damit wird erreicht, daß jeder Laser dieselbe Beschichtungsrate erfährt und die aufgebrachten Schichten denselben Brechungsindex bekommen. Ein weiterer häufig auftretender Fall ist, daß die Beschichtungsparameter über einen gewissen Bereich eine lineare Symmetrie besitzen; dann sollen die Laser gemäß Anspruch 23 linear angeordnet sein.

Anspruch 24 sieht vor, daß eine oder mehrere Blenden während des Entspiegelungsprozesses ganz oder teilweise vor den bzw. jeden Laser bewegbar sind. Hierdurch wird eine Einzel-Optimierung jedes Lasers ermöglicht, indem während der Beschichtung einzelne Laser oder alle bis auf einen Laser, durch Blenden abgedeckt werden.

Laut Anspruch 25 ist mehr als ein Laser während des Prozesses elektrisch betreibbar, wobei nach Anspruch 26 Einrichtungen zum Messen bzw. Beobachten der Laserparameter in solcher Ausbildung vorhanden sein können, daß bei mindestens einem Laser, vorzugsweise bei mehreren oder allen in der Laserhalterung enthaltenen Lasern zumindest ein Laserparameter kontinuierlich oder diskret beobachtbar ist, wodurch ein hohes Maß an Effizienz und Prozeßsicherheit gewährleistet wird.

Zur Prozeßregelung dient laut Anspruch 27 eine Steuerungs- und Meßeinrichtung, die mit einer Laser-Ansteuerung, einer Regelung für die Kontrolle der Blenden im Rezipienten, einer Schichtkontrolle sowie einer Vakuumkontrolle versehen ist. Die gesamte Elektronik befindet sich vorzugsweise in einem separaten Schaltschrank und ist gemäß Anspruch 28 über elektrische und/oder optische Leitungen mit der Beschichtungsquelle, der Laserhalterung und/oder der Blendenhalterung im Rezipienten betätigungsverbunden.

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus dem Wortlaut der Ansprüche sowie aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen. Darin ist bzw. sind:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Beschichtungsanlage für Halbleiterlaser,
- Fig. 2A ein typischer Verlauf der Lichtleistung eines Lasers während eines Entspiegelungsprozesses,
- Fig. 2B ein typischer Verlauf des Schwellstroms eines Lasers während eines Entspiegelungsprozesses,
- Fig. 2C ein typischer Verlauf der Spannung am p-n-Übergang eines Lasers während eines Entspiegelungsprozesses,
- Fig. 3A bis 3 C schematische Darstellungen der Wachstumsrate aufgebrachter Schichten bei rotationssymmetrischen bzw. linearen Beschichtungsparametern,
- Fig. 4A und 4B je eine schematische Darstellung bevorzugter Bauformen der Befestigung des Halbleiterlasers im Laserhalter,
- Fig. 5 bis 7 schematische Darstellungen – jeweils mit Teilbildern – bevorzugter Bauformen eines Laserhalters für rotationssymmetrische Beschichtung und Blendenanordnung, und
- Fig. 8 bis 11 schematische Darstellungen – jeweils mit Teilbildern – bevorzugter Bauformen eines Laserhalters für translationssymmetrische Beschichtung und Blendenanordnung.

In Fig. 1 ist eine Beschichtungsanlage für Halbleiterlaser schematisch dargestellt. Sie besteht aus einem Rezipienten 1, in dem der Beschichtungsprozeß stattfindet, und einer Steuerungs- und Meßeinrichtung 9, die alle prozeßrelevanten Parameter kontrolliert. Im Ausführungsbeispiel ist der Rezipient 1 in einen oberen Magazinteil 11 und einen darunter befindlichen Beschichtungsteil 14 aufgeteilt. Im Beschichtungsteil 14 ist eine Beschichtungsquelle 2 auf dem Boden des Rezipienten 1 angeordnet. Halbleiterlaser 3 sind in einer Laserhalterung 4 montiert, die sich auf einer Trägerplatte 6 befindet. Die Halbleiterlaser 3 sind mit einer mindestens einer Blende 5 abgedeckt, die an einer Halterung 15 befestigt ist und zur individuellen Freigabe der einzelnen Laser dient. Zusätzlich kann die gesamte Lasereinheit 3, 4 durch eine Blende 5 abgedeckt werden. Die z.B. in einem (nicht gezeichneten) Schaltschrank untergebrachte Kontrolleinheit 9 ist modular aufgebaut. Sie besteht, wie rechts in Fig. 1 schematisch angedeutet ist, aus einer Laseransteuerung 901, aus einer Blendenregelung 921, einer Schichtkontrolleinheit 941 sowie aus einer Vakuumregelung 961. Diese Einheiten sind mit der Beschichtungsquelle 2, der Laserhalterung 4 und/oder der Blendenhalterung 15 betätigungsverbunden, z.B. durch elektrische und/oder optische Leitungen 19.

Aus Fig. 2 geht der typische Verlauf einiger Laserparameter als Funktion der Beschichtungszeit t während eines Entspiegelungsprozesses hervor. Teilbild 2A zeigt den zeitlichen Verlauf der Lichtleistung P für eine Einschicht-Entspiegelung. Der beste Wert der Antireflexions-Beschichtung wird im Bereich des Minimums erreicht. Teilbild 2B zeigt den Verlauf des Schwellstroms I für eine Einschicht-Entspiegelung. Der beste Wert wird im Bereich des Maximums erzielt. Teilbild 2C zeigt den Verlauf der Spannung U am p-n-Übergang des Lasers, ebenfalls für eine Einschicht-Entspiegelung. Wiederum wird der beste Wert im Bereich des Maximums erreicht.

Fig. 3 zeigt den Verlauf der Wachstumsrate R als Funktion des Ortes, relativ zur Beschichtungsquelle. Man ersieht aus Teilbild 3A die Beschichtungsrate als Funktion des Radius eines rotationssymmetrisch zur Beschichtungsquelle angeordneten Laserhalters. Hierbei besteht eine erhebliche Abhängigkeit der Wachstumsrate vom Radius, weshalb erfahrungsgemäß vorgesehen ist, die Laser in diesem Fall auf einem Kreis oder Ring mit gleicher Wachstumsrate anzutragen (vergl. Fig. 5 bis 7).

Der Verlauf der Beschichtungsrate für eine Beschichtungsquelle, die über einen Bereich translationsinvariante Geometrie aufweist, ist aus den Teilbildern 3B und 3C ersichtlich. Dabei liegt die X-Richtung senkrecht zur Invarianzrichtung, während die Y-Richtung für einen gewissen Bereich Translationsinvarianz aufweist. Vorteilhaft ordnet man die Dioden daher entlang einer zentralen Linie ($x = 0$) oder entlang zweier gleichweit vom Zentrum entfernter Linien an (z.B.: $x = 0.3$); Ausführungsbeispiele ergeben sich aus Fig. 8 bis 11.

Fig. 4 zeigt zwei schematische Darstellungen der Befestigung. Die Halbleiterlaser 3 werden im Laserhalter 4 z.B. mit einer Hohlschraube 321 festgeschraubt. Die Frontfacette 302 eines Laserchips 301 ist so ausgerichtet, daß sich die dielektrische Beschichtung darauf niederschlägt. Die rückwärtige Facette 303 des Laserchips 301 ist der Beschichtung abgewandt. Im Teilbild Fig. 4A ist hinter dem Laser eine Photodiode 310 angebracht, mit der das von der rückseitigen Laserfacette 303 emittierte Laserlicht beobachtet wird. Gemäß Fig. 4B ist anstelle der Photodiode 310 eine Glasfaser 311 hinter dem Laser 3 angebracht, mit der das von der rückseitigen Laserfacette 303 emittierte Licht für eine detailliertere Beobachtung aus dem Rezipienten 1 herausgeführt wird.

Fig. 5 stellt schematisch eine bevorzugte Bauform des Laserhalters bzw. Lasermagazins 4 für rotationssymmetrische Beschichtung dar. Fig. 5A zeigt eine Draufsicht auf den Laserhalter 4 zusammen mit der Anordnung der Blenden 5; ein Querschnitt der Anordnung ist aus Fig. 5B ersichtlich. Die Halbleiterlaser 3 sind auf einer Linie 410 mit gleicher Beschichtungsrate und gleichem Brechungsindex angeordnet. Jeder Laser 3 kann einzeln von einer Blende 5 abgedeckt oder durch Translation der Blende 5 in Richtung des Pfeils 51 zur Beschichtung freigegeben werden. Um die Bewegung der Blende 5 in Richtung des Pfeils zu realisieren, kann man die Blende auf einem Verschiebeschlitten 52 bzw. 53 plazieren, der durch einen (nicht dargestellten) Schrittmotor angetrieben wird. Laser 35 ist durch Blende 55 abgedeckt und damit vor Beschichtung geschützt. Eine in Richtung des Pfeils 51 verschobene Blende 56 gibt Laser 36 zur Beschichtung frei. Mit einer solchen Anordnung ist es möglich, zunächst alle Halbleiterlaser gleichzeitig zu beschichten, die relevanten Laserparameter jedes Lasers zu beobachten und dann beim Erreichen der besten Dicke der jeweiligen Teilschicht jeden Laser individuell mit Hilfe der zugeordneten Blende abzudecken. Alternativ lassen sich alle Laser bis zu einem sicherem Wert der Schichtdicke gemeinsam beschichten, worauf man

alle Laser bis auf einen mit Hilfe der Blenden abschottet und dann die jeweilige Teilschicht individuell für jeden Laser optimiert.

Fig. 6 zeigt schematisch eine weitere bevorzugte Bauform des Laserhalters bzw. Lasermagazins 4 für rotationssymmetrische Beschichtung. Fig. 6A zeigt eine Draufsicht auf den Laserhalter 4 zusammen mit der Anordnung der Blende 5.; ein Querschnitt der Anordnung geht aus Fig. 6B hervor. Die Halbleiterlaser 3 sind hierbei auf einer Linie 410 mit gleicher Beschichtungsrate und gleichem Brechungsindex angeordnet. Blende 5 kann entsprechend Pfeil 59 ganz zur Seite bewegt werden, um alle Laser 3 gleichzeitig zur Beschichtung freizugeben. Wenn Blende 5 vor dem Laserhalter 4 positioniert ist, gibt eine Öffnung 57 genau einen Laser 3 bzw. 36 frei. Durch Rotation der Blende 5 entsprechend Pfeil 58 kann jeder Laser 3 einzeln zur Beschichtung freigeben werden. Mit der in Fig. 6 gezeigten Anordnung ist es ebenfalls möglich, zunächst alle Halbleiterlaser gleichzeitig bis zu einem sicherem Wert der Schichtdicke zu beschichten, danach alle Laser bis auf einen mit Hilfe der Blende 5 abzuschotten und dann die jeweilige Teilschicht für jeden Laser einzeln zu optimieren.

Eine Modifikation ist aus Fig. 7 ersichtlich, wobei nicht die Blende, sondern der Laserhalter 4 entsprechend Pfeil 48 drehbar angeordnet ist. Das Beschichtungsverfahren ist im übrigen zu dem für Fig. 6 beschriebenen äquivalent.

Fig. 8 zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Bauform des Laserhalters bzw. Lasermagazins 4 für translationssymmetrische Beschichtung. Man sieht in Fig. 8A eine Draufsicht auf den Laserhalter 4 zusammen mit der Anordnung von Blenden 5; Fig. 8B zeigt einen Längsschnitt der Anordnung. Die Halbleiterlaser 3 sind entlang zwei Linien 411 mit gleicher Beschichtungsrate und gleichem Brechungsindex angeordnet. Jeder Laser 3 kann einzeln von einer Blende 5 abgedeckt oder durch Translation der Blende 5 in Richtung des Pfeils 51 zur Beschichtung freigegeben werden. Beispielsweise ist Laser 35 durch Blende 55 abgedeckt und damit vor Beschichtung geschützt. Wird Blende 56 in – wie gezeichnet – Pfeilrichtung 51 verschoben, so wird Laser 36 zur Beschichtung freigegeben. Auch mit einer derartigen Anordnung ist es möglich, zunächst alle Halbleiterlaser gleichzeitig zu beschichten, die relevanten Laserparameter jedes Lasers zu beobachten und dann beim Erreichen der besten Dicke der jeweiligen Teilschicht jeden Laser individuell mit Hilfe der zugeordneten Blende abzudecken. Alternativ ist es wiederum möglich, alle Laser bis zu einem sicherem Wert der Schichtdicke gemeinsam zu beschich-

ten, danach alle Laser bis auf einen mit Hilfe der Blenden abzuschotten und dann die jeweilige Teilschicht individuell für jeden Laser einzeln zu optimieren.

In Fig. 9 ist eine abgewandelte Bauform des Laserhalters bzw. Lasermagazins 4 für translationssymmetrische Beschichtung schematisch dargestellt. Fig. 9A zeigt eine Draufsicht auf den Laserhalter 4 zusammen mit der Blende 5; Fig. 9B zeigt die Anordnung im Längsschnitt. Die Halbleiterlaser 3 sind entlang zwei Linien 411 mit gleicher Beschichtungsrate und gleichem Brechungsindex angeordnet. Blende 5 ist in Pfeilrichtung 585 zur Seite bewegbar, so daß alle Laser 3 gleichzeitig zur Beschichtung freigegeben werden. Sobald Blende 5 vor dem Laserhalter 4 positioniert ist, gibt eine Öffnung 57 genau einen Laser 3 bzw. 36 zur Beschichtung frei. Blende 5 kann aber entsprechend Pfeil 585 auch so verschiebbar sein, daß jeder Laser 3 einzeln zur Beschichtung freigegeben wird. Mit der in Fig. 9 gezeigten Anordnung ist es ebenfalls möglich, zunächst alle Halbleiterlaser gleichzeitig bis zu einem sicherem Wert der Schichtdicke zu beschichten, danach alle Laser bis auf einen mit Hilfe der Blende 5 abzuschotten und dann die jeweilige Teilschicht individuell für jeden Laser zu optimieren.

Fig. 10 zeigt eine Modifikation, bei der die Blende 5 nur in einer Richtung entsprechend Pfeil 580 verschiebbar ist; andererseits kann der Laserhalter 4 entsprechend Pfeil 480 verschoben werden. Das Beschichtungsverfahren ist ansonsten zu dem bei Fig. 9 beschriebenen äquivalent.

Man kann ferner vorsehen, daß die Blende 5 in Richtung eines Pfeils 590 und der Laserhalter in Richtung eines Pfeils 490 verschiebbar ist, wie in Fig. 11 dargestellt.

Die Erfindung ist nicht auf die erläuterten Beispiele beschränkt; vielmehr sind zahlreiche Variationen möglich, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen. Man erreicht in jedem Falle eine erhebliche Verbesserung der *in-situ*-Beobachtung von Laserdioden während der Antireflexions-Beschichtung. Darüberhinaus wird die hohe Qualität des Verfahrens auf die Produktion hoher Stückzahlen übertragen, was mit bisherigen Mitteln nicht möglich war.

In bevorzugter Ausführungsform der Erfindung zur Herstellung von Antireflexions-Schichten von minimaler Restreflektivität für Halbleiterlaserdioden beobachtet man *in situ* das von der Frontfacette und/oder Rückfacette eines Lasers emittierte Laserlicht und bestimmt die Dicke einzelner Teilschichten

anhand eines *in situ* beobachteten Laserparameters, insbesondere durch Vergleich mit einem theoretisch berechneten Zeitverlauf. Als Laserparameter kann die Leistung oder die Quanteneffizienz des vom Laser emittierten Lichts benutzt werden, wahlweise auch seine Wellenlänge, die elektrische Spannung am p-n-Übergang des Lasers oder sein Schwellstrom. Man kann mehrere Halbleiterdiodenlaser gleichzeitig in einen Rezipienten 1 einbringen und z.B. einen fertig konfektionierten Laser 3 als Monitorlaser benutzen, während weitere Laser (3) simultan bis zu einem Referenzwert mitbeschichtet werden, worauf jeder Laser 3 einzeln mit *in-situ*-Beobachtung der Teilschichtdicke optimiert wird. Nicht fertig konfektionierte Laser lassen sich in Chip- oder in Barrenform in den Rezipienten 1 einbringen. Eine besonders geeignete Vorrichtung umfaßt außer der Beschichtungsquelle 2 mindestens eine bewegliche Laserhalterung 4 und/oder mindestens eine davor befindliche Blende 5, die wahlweise während der Entspiegelung vor den bzw. jeden Laser 3 bewegbar ist. Dieser kann samt seiner als Magazin 11 ausgebildeten Halterung in eine Beschichtungskammer 14 überführt werden, neben der sich bevorzugt sich eine schwenk- und/oder verschiebbare Blendenhalterung 15 befindet. Die Laser 3 können ring- bzw. kreisförmig oder linear angeordnet sein. Zumindest einer ist im Rezipienten 1 elektrisch betreibbar und mittels einer Steuerungs- und Meßeinrichtung 9 auf wenigstens einen Laserparameter hin kontinuierlich oder diskret beobachtbar. Ein Schaltschrank kann eine Laser-Ansteuerung 901, eine Blendenregelung 921, eine Schichtkontrolle 941 und/oder eine Vakuumkontrolle 961 enthalten. Die Steuerungs- und Meßeinrichtung 9, d.h. die Kontroll-Elektronik, ist mit der Beschichtungsquelle 2, der Laserhalterung 4 und/oder der Blendenhalterung 5 z.B. durch elektrische und/oder optische Leitungen 19 betätigungsverbunden.

Sämtliche aus den Ansprüchen, der Beschreibung und der Zeichnung hervorgehenden Merkmale und Vorteile, einschließlich konstruktiver Einzelheiten, räumlicher Anordnungen und Verfahrensschritten, können sowohl für sich als auch in den verschiedensten Kombinationen erfindungswesentlich sein.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Antireflexions-Schichten von minimaler Restreflektivität für Halbleiterlaserdioden mit *in-situ*-Beobachtung des von der Frontfacette und/oder Rückfacette eines Lasers emittierten Laserlichts, der elektrischen Spannung am p-n-Übergang des Lasers oder der Quanteneffizienz des von der Frontfacette und/oder des von der Rückfacette des Lasers emittierten Laserlichts oder des Schwellstroms des Lasers, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der einzelnen Teilschichten, aus denen sich die Antireflexions-Beschichtung zusammensetzt, durch den *in-situ*-beobachteten Verlauf eines Laserparameters bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch den Vergleich des theoretisch berechneten Zeitverlaufs des Laserparameters mit dem *in situ* beobachteten Zeitverlauf.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserparameter die Leistung des von der Frontfacette des Lasers emittierten Lichts ist.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserparameter die Leistung des von der Rückfacette des Lasers emittierten Lichts ist.
5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserparameter die Leistung des von der Front- und der Rückfacette des Lasers emittierten Lichts ist.
6. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserparameter die Quanteneffizienz des von der Frontfacette des Lasers emittierten Lichts ist.
7. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserparameter die Quanteneffizienz des von der Rückfacette des Lasers emittierten Lichts ist.

8. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserparameter die Quanteneffizienz des von der Front- und der Rückfacette des Lasers emittierten Lichts ist.
9. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserparameter die Wellenlänge des vom Laser emittierten Lichts ist.
10. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserparameter die elektrische Spannung am p-n-Übergang des Lasers ist.
11. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserparameter der Schwellstrom des Lasers ist.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß man mehrere Halbleiterdiodenlaser gleichzeitig in einen Rezipienten einbringt.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein Laser als Monitorlaser benutzt wird und weitere Laser simultan mitbeschichtet werden.
14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß bei mindestens einer Teilschicht alle im Rezipienten eingebrachten Halbleiterlaser gemeinsam bis zu einem Referenzwert beschichtet werden, worauf man die Schichtdicke jedes Lasers einzeln mit *in-situ*-Beobachtung eines oder mehrerer Laserparameter optimiert.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß man alle Laser fertig konfektioniert in den Rezipienten einbringt.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein fertig konfektionierter Laser und im übrigen nicht fertig konfektionierte Laser in den Rezipienten eingebracht werden.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die nicht fertig konfektionierten Laser in Chipform in den Rezipienten eingebracht werden.
18. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die nicht fertig konfektionierten Laser in Barrenform in den Rezipienten eingebracht werden.
19. Vorrichtung zum Herstellen von Antireflexionsschichten von minimaler Restreflektivität für Halbleiterdiodenlaser mit in-situ-Beobachtung des von der Frontfacette und/oder Rückfacette eines Lasers (3) emittierten Laserlichts, der elektrischen Spannung am p-n-Übergang des Lasers oder der Quanteneffizienz des von der Frontfacette und/oder Rückfacette des Lasers emittierten Laserlichts oder des Schwellstroms des Lasers, mit einem Rezipienten (1), mit einer Beschichtungsquelle (2) und mit wenigstens einem zu beschichtenden, in einer Halterung (4) gefaßten Laser (3), insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Beschichtungsquelle (2) mindestens eine bewegliche Laser-Halterung (4) und/oder mindestens eine vor der bzw. jeder Laserhalterung (4) befindliche, wahlweise bewegbare Blende (5) zugeordnet ist.
20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß der bzw. jeder Laser (3) zusammen mit seiner als Magazin (11) ausgebildeten Halterung in eine Beschichtungskammer (14) überführbar ist.
21. Vorrichtung nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß der bzw. jeder Laser (3) sich in einer Beschichtungskammer (14) befindet, neben der eine schwenk- und/oder verschiebbare Blendenhalterung (17) angeordnet ist.
22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Laser (3) ring- oder kreisförmig angeordnet sind.
23. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 19 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Laser (3) linear angeordnet sind.

24. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 19 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß eine oder mehrere Blenden (5) während des Entspiegelungsprozesses ganz oder teilweise vor den bzw. jeden Laser (3) bewegbar sind.
25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß mehr als ein Laser (3) während des Entspiegelungsprozesses elektrisch betreibbar ist.
26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 25, gekennzeichnet durch solche Ausbildung einer Steuerungs- und Meßeinrichtung (9), daß bei mindestens einem Laser (3) zumindest ein Laserparameter kontinuierlich oder diskret beobachtbar ist.
27. Vorrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerungs- und Meßeinrichtung (9) mit einer Laser-Ansteuerung (901), einer Blendenregelung (921), einer Schichtkontrolle (941) und/oder einer Vakuumkontrolle (961) versehen ist.
28. Vorrichtung nach Anspruch 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerungs- und Meßeinrichtung (9) mit der Beschichtungsquelle (2), der Laserhalterung (4) und/oder der Blendenhalterung (5) betätigungsverbunden ist, beispielsweise durch elektrische und/oder optische Leitungen (19).

Z u s a m m e n f a s s u n g

Hauptabbildung: Fig. 1

Zur Herstellung von Antireflexions-Schichten von minimaler Restreflektivität für Halbleiterlaserdioden beobachtet man *in situ* das von der Frontfacette und/oder Rückfacette eines Lasers emittierte Laserlicht und bestimmt die Dicke einzelner Teilschichten anhand eines *in situ* beobachteten Laserparameters, insbesondere durch Vergleich mit einem theoretisch berechneten Zeitverlauf. Als Laserparameter kann die Leistung oder die Quanteneffizienz des vom Laser emittierten Lichts benutzt werden, wahlweise auch seine Wellenlänge, die elektrische Spannung am p-n-Übergang des Lasers oder sein Schwellstrom. Man kann mehrere Halbleiterdiode-laser gleichzeitig in einen Rezipienten (1) einbringen und z.B. einen fertig konfektionierten Laser (3) als Monitorlaser einsetzen, während weitere Laser simultan bis zu einem Referenzwert mitbeschichtet werden, worauf jeder Laser (3) einzeln mit *in-situ*-Beobachtung der Teilschichtdicke optimiert wird. Nicht fertig konfektionierte Laser lassen sich in Chip- oder in Barrenform einbringen. Eine besonders geeignete Vorrichtung umfaßt außer der Beschichtungsquelle (2) mindestens eine bewegliche Laserhalterung (4) und/oder mindestens eine davor befindliche Blende 5, die während der Entspiegelung vor den betreffenden Laser (3) bewegbar ist. Dieser kann samt seiner Halterung (4) in eine Beschichtungskammer (14) überführt werden, neben der sich eine schwenk- und/oder verschiebbare Blendenhalterung (15) befindet. Die Laser (3) können ring- bzw. kreisförmig oder linear angeordnet sein. Zumindest einer ist im Rezipienten (1) elektrisch betreibbar und mittels einer Steuerungs- und Meßeinrichtung (9) auf wenigstens einen Laserparameter hin kontinuierlich oder diskret beobachtbar. Ein Schaltschrank kann eine Laser-Ansteuerung (901), eine Blendenregelung (921), eine Schichtkontrolle (941) und/oder eine Vakuumkontrolle (961) enthalten. Die Elektronik ist mit der Beschichtungsquelle (2), der Laserhalterung (4) und/oder der Blendenhalterung (15) betätigungsverbunden.

B e z u g s z e i c h e n l i s t e

1	Rezipient
2	Beschichtungsquelle
3	(Halbleiter-)Laser
4	Laserhalterung/-Magazin
5	Blende
6	Trägerplatte
9	Steuerungs- und Meßeinrichtung
11	Magazinteil
14	Beschichtungsteil
15	Blendenhalterung
19	Leitungen
35, 36	Laser
48, 51	Pfeilrichtung
52, 53	Blendenträger/Schlitten
55, 56	Blenden
57	Öffnung
58, 59	Pfeilrichtung
301	Laserchip
302	Fronfacette
303	Rückfacette
310	Photodiode
311	Glasfaser/Lichtleiter
321	Hohlschraube
410, 411	Linien
480, 490	Pfeilrichtungen
580, 585, 590	Pfeilrichtungen
901	Laser-Ansteuerung
921	Blendenregelung
941	Schichtkontrolle(einheit)
961	Vakuumkontrolle(einheit)

Fig. 1

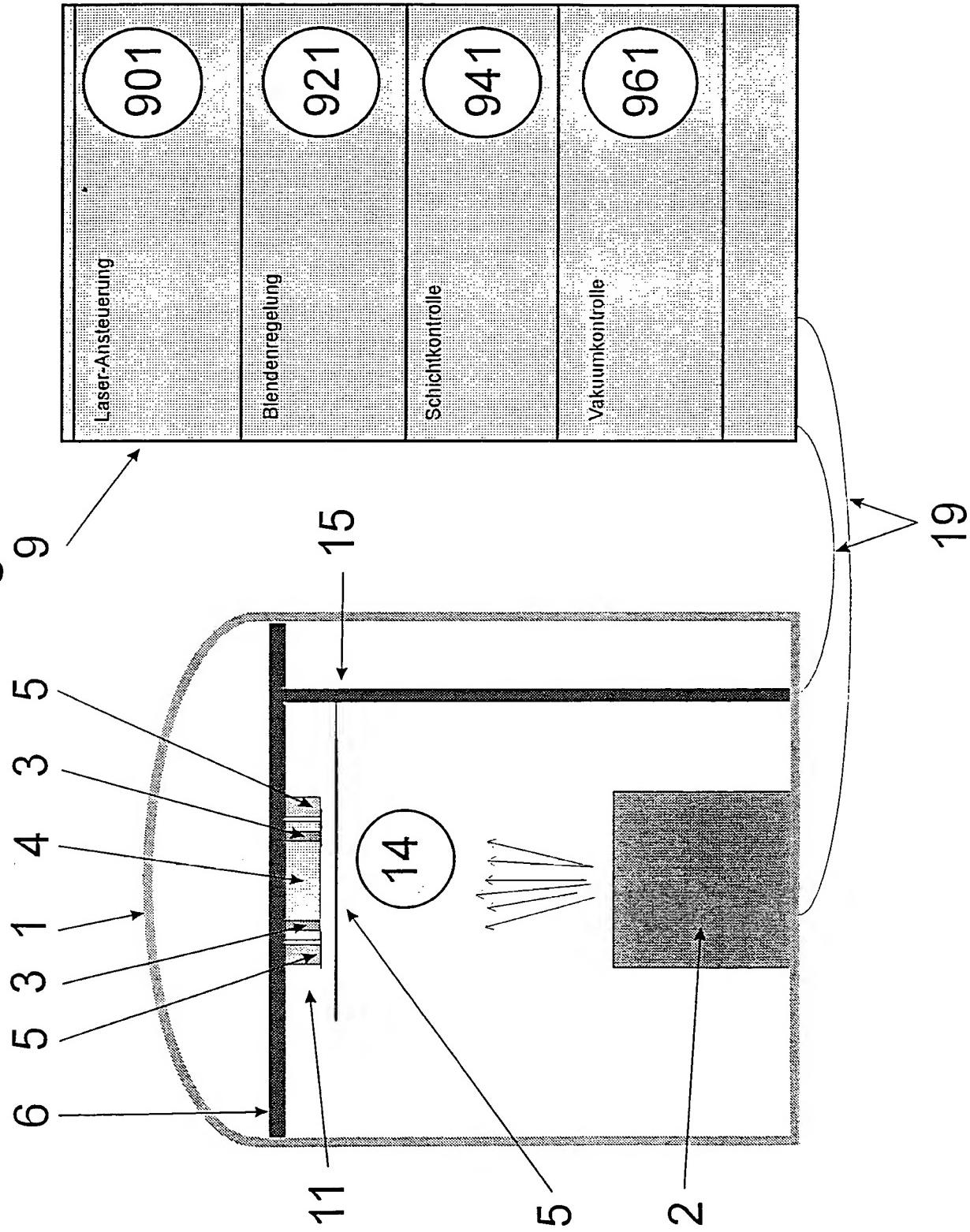


Fig. 2A

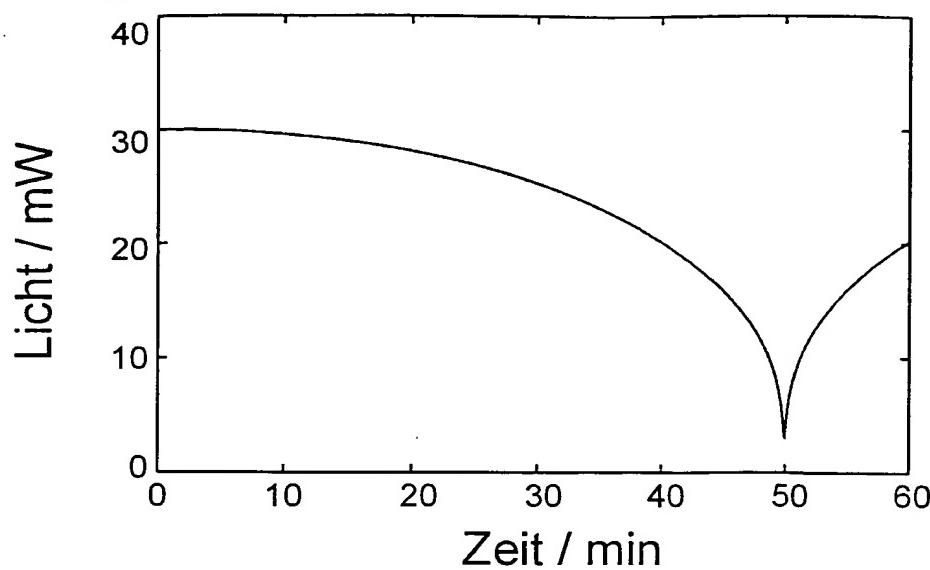


Fig. 2B

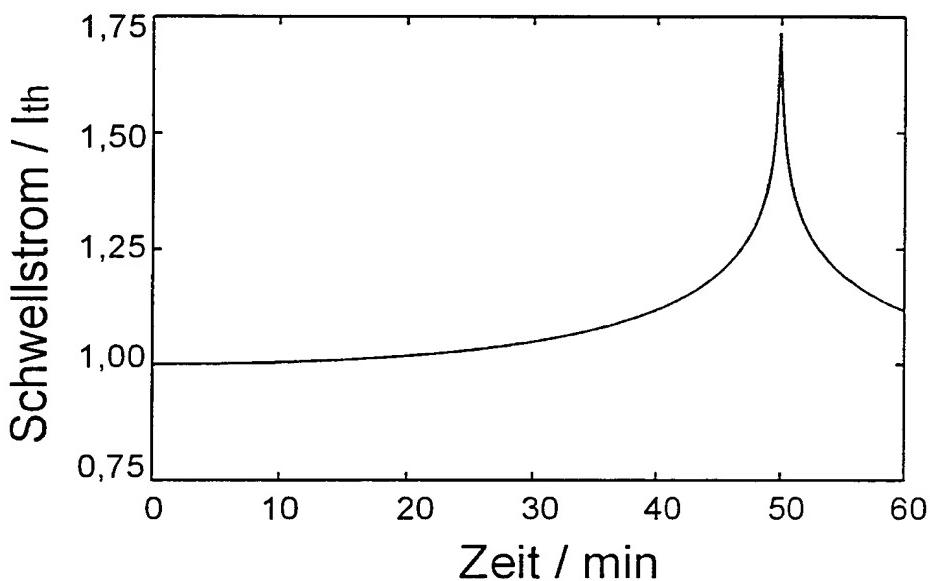


Fig. 2C

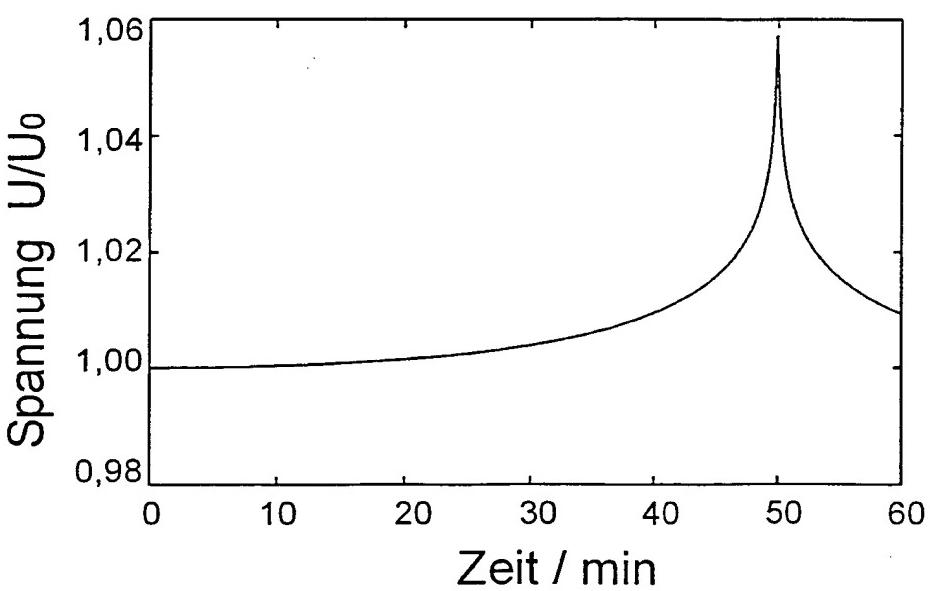


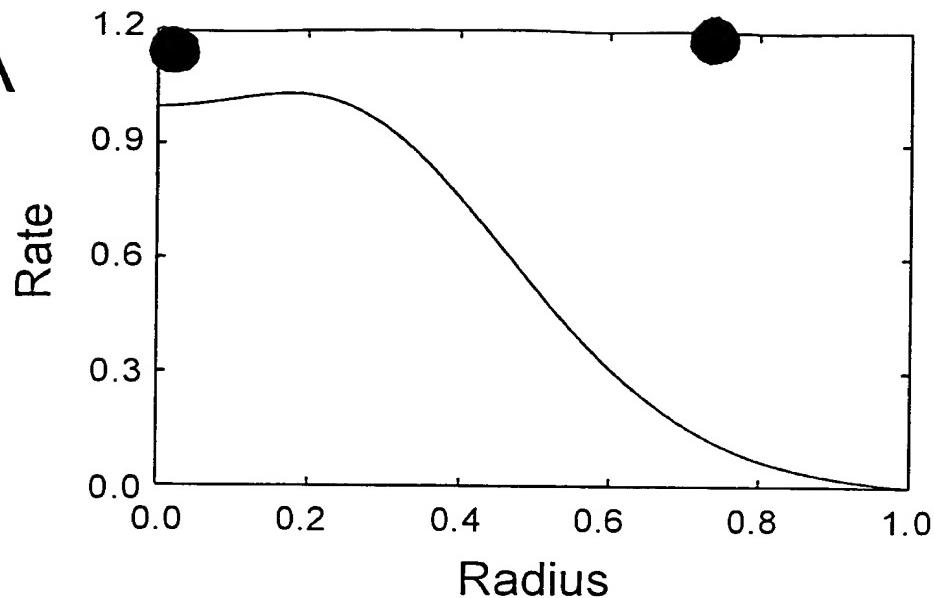
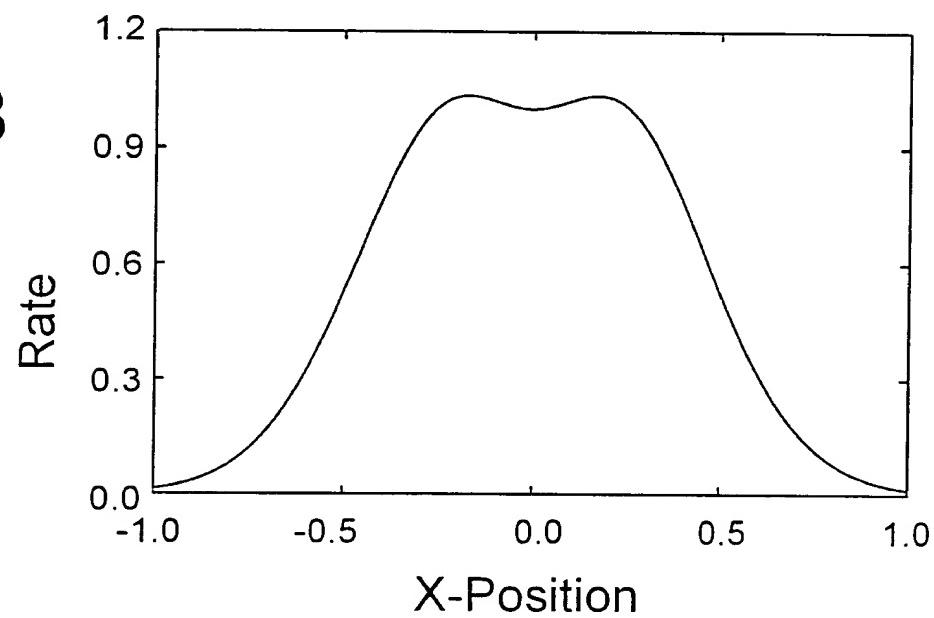
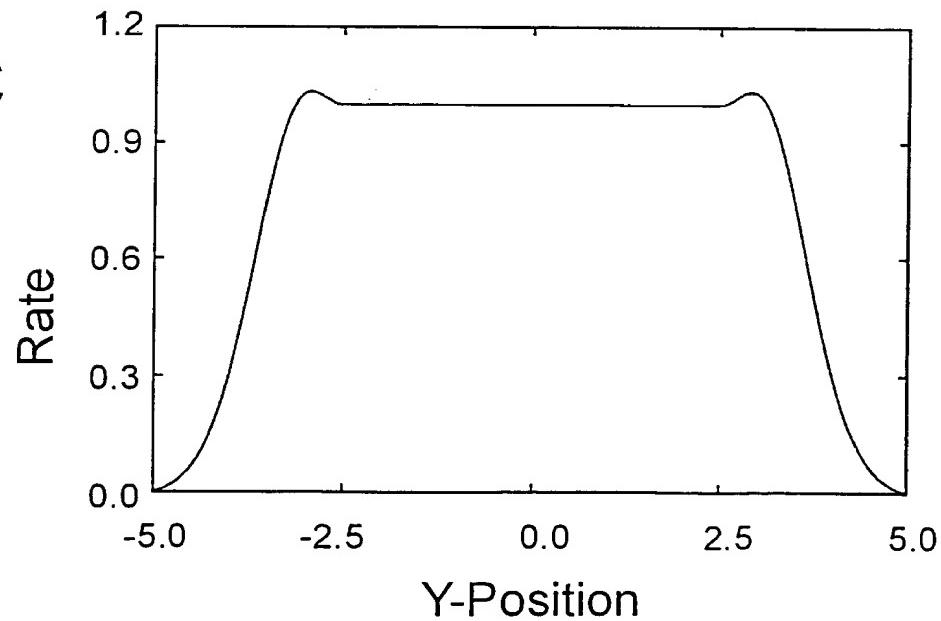
Fig. 3A**Fig. 3B****Fig. 3C**

Fig. 4A

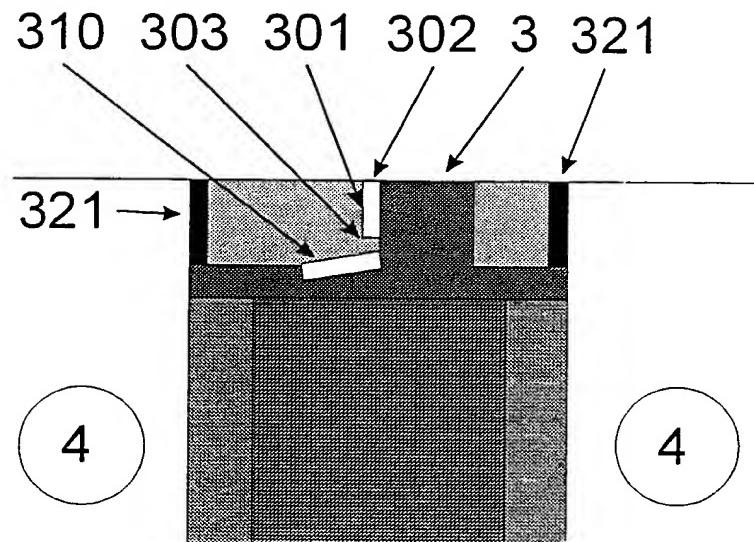


Fig. 4B

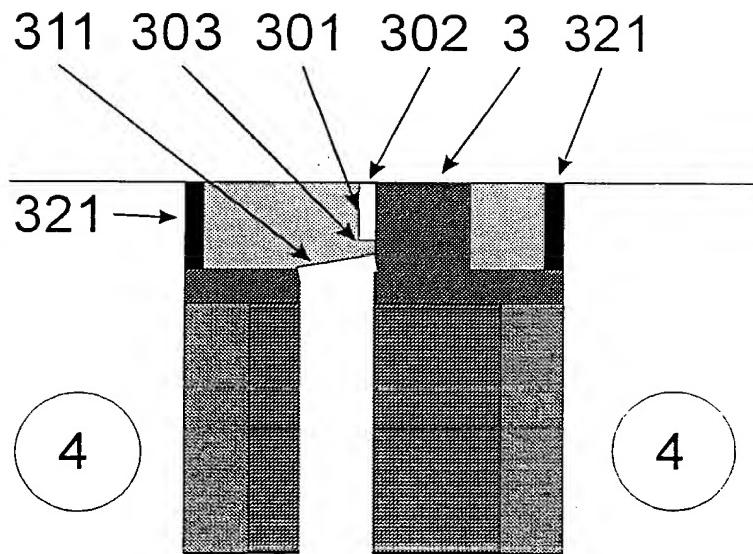


Fig. 5A

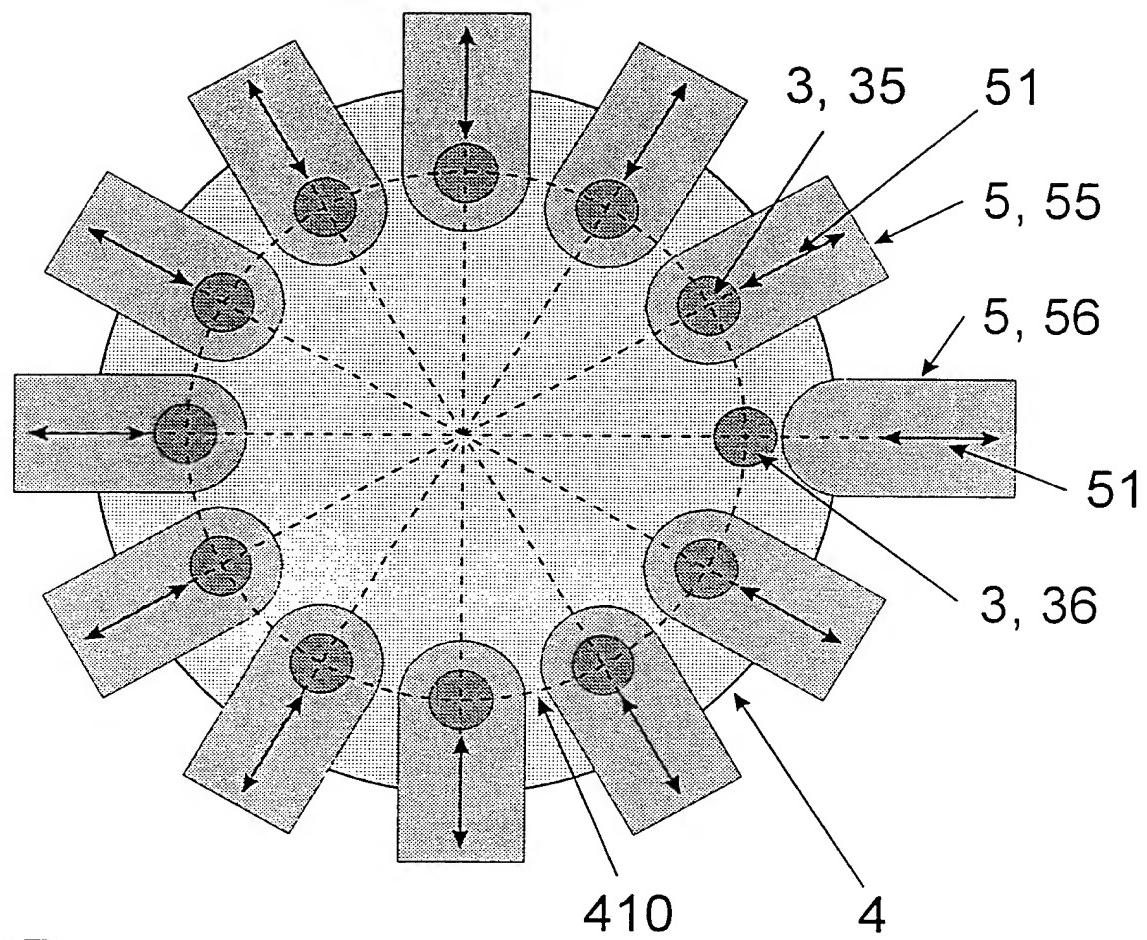


Fig. 5B

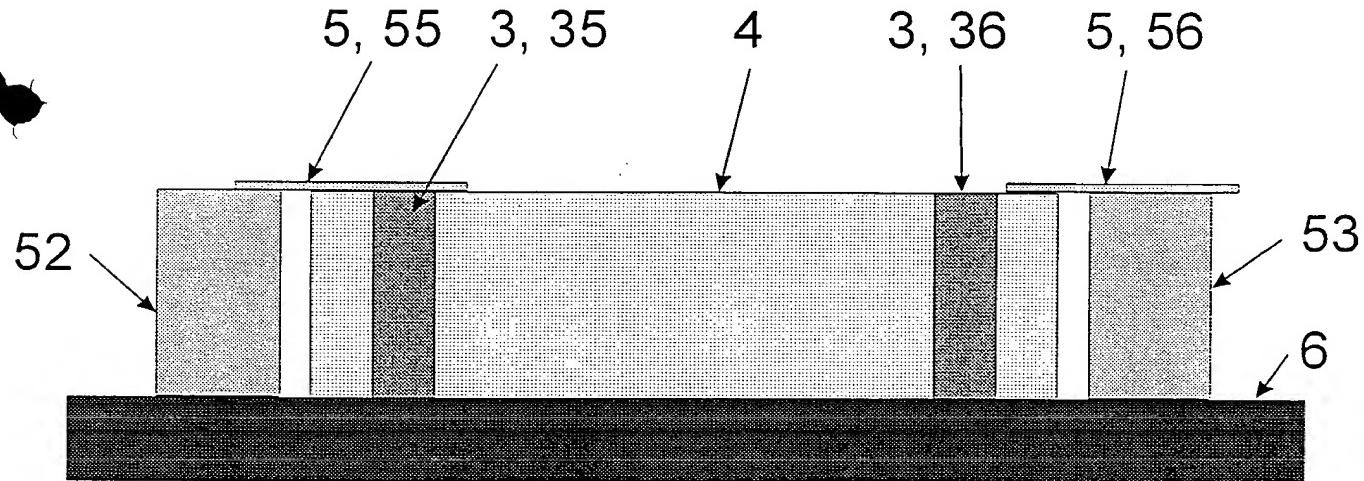


Fig. 6A

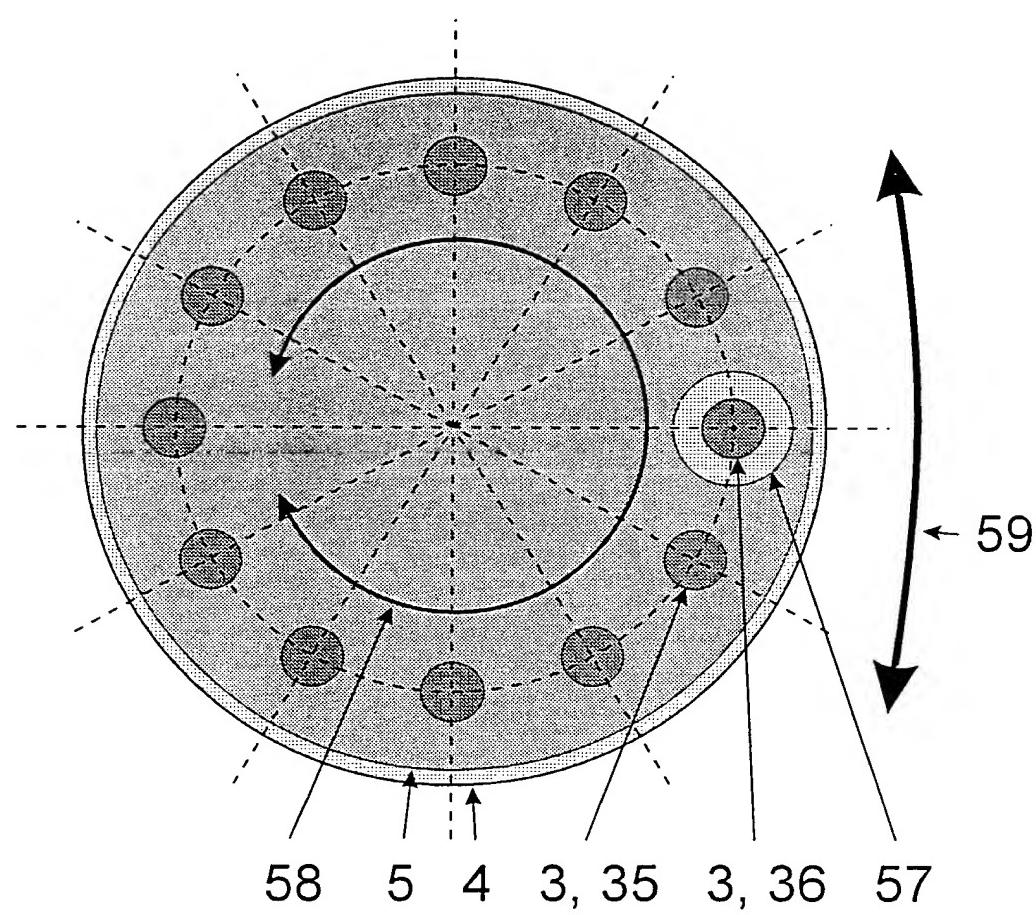


Fig. 6B

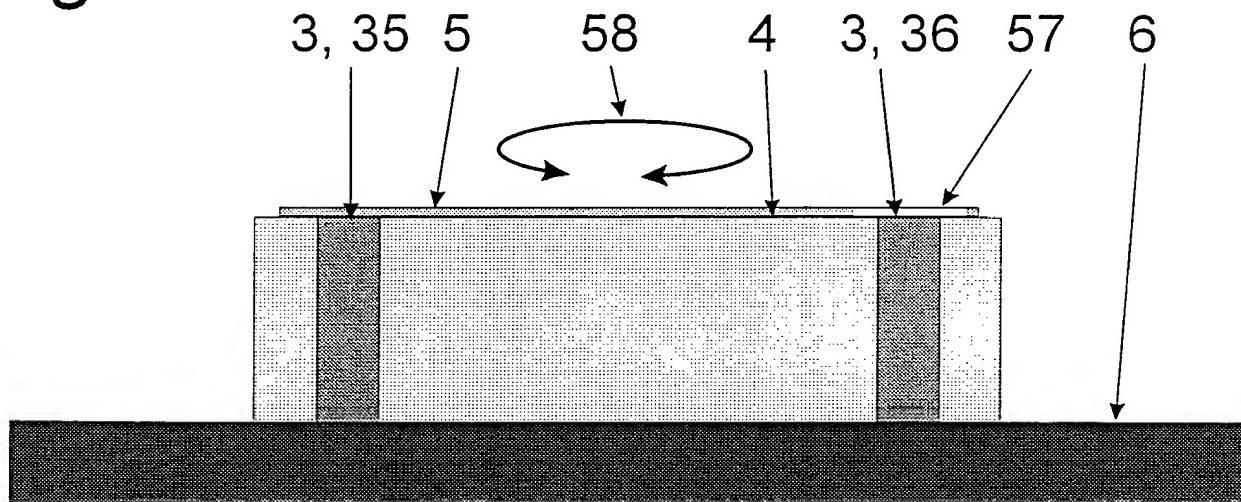


Fig. 7A

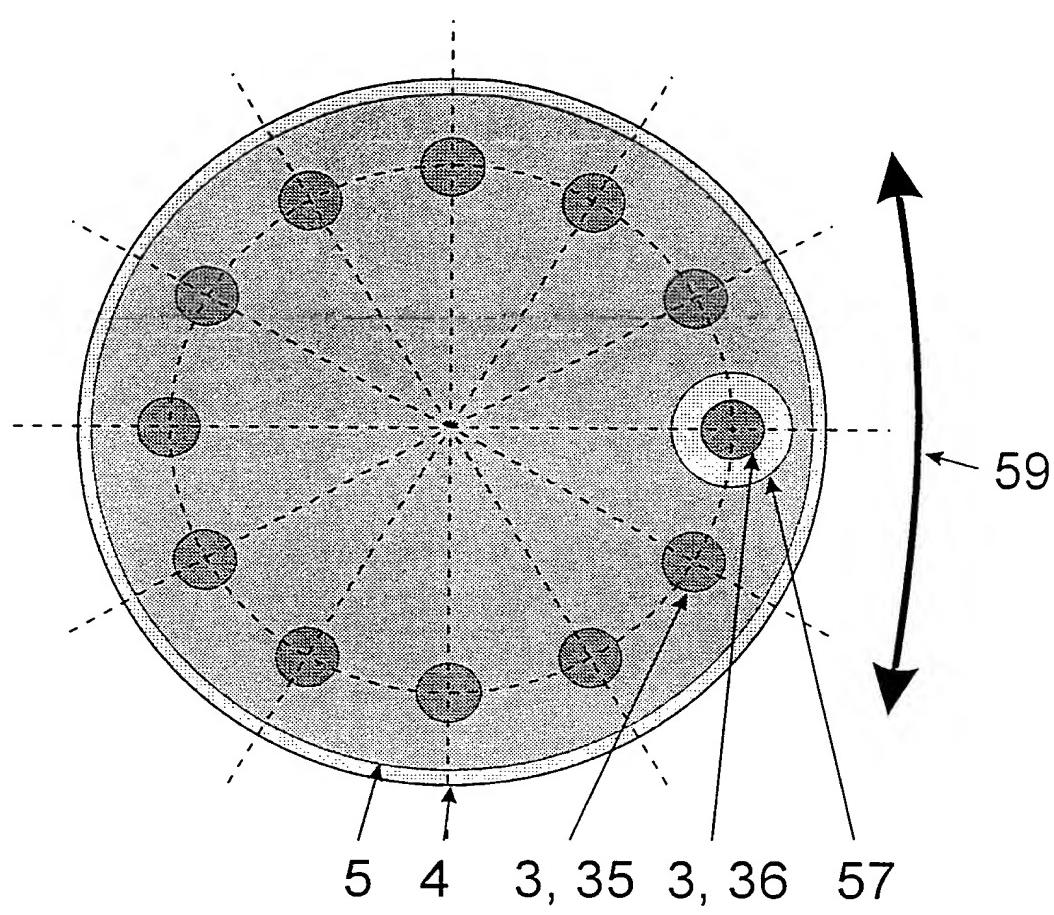


Fig. 7B

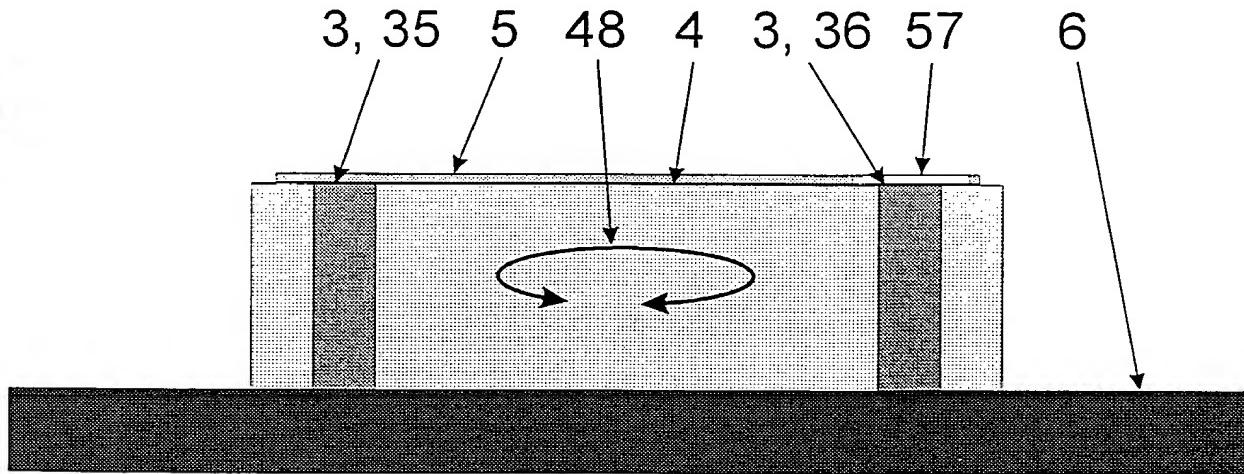


Fig. 8A

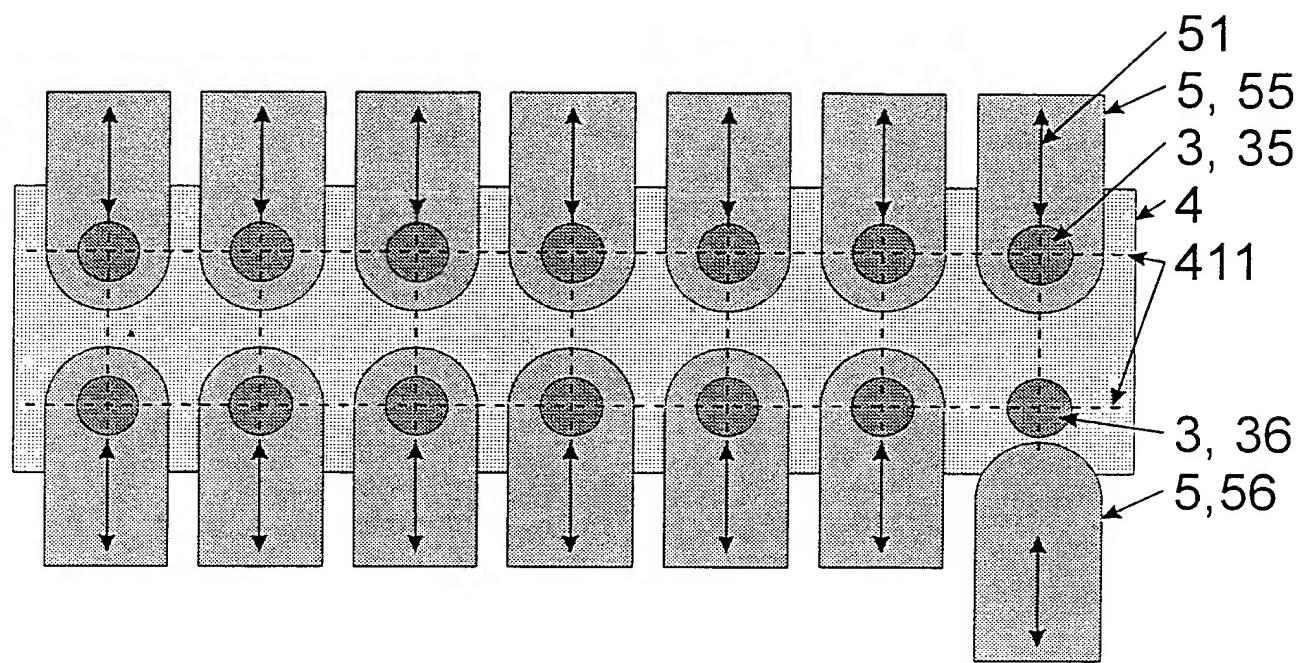


Fig. 8B

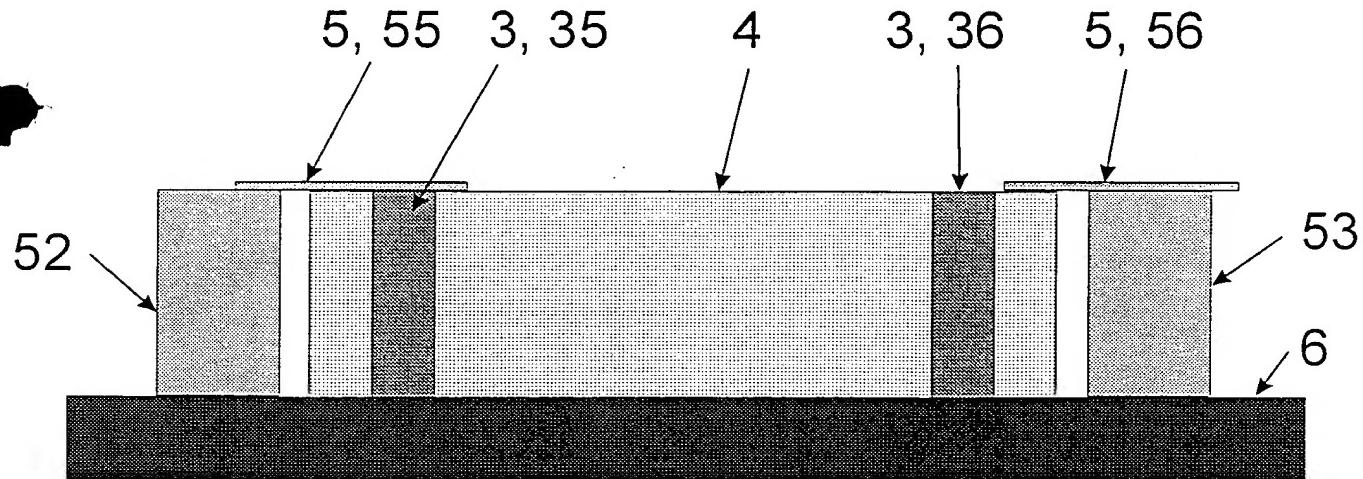


Fig. 9A

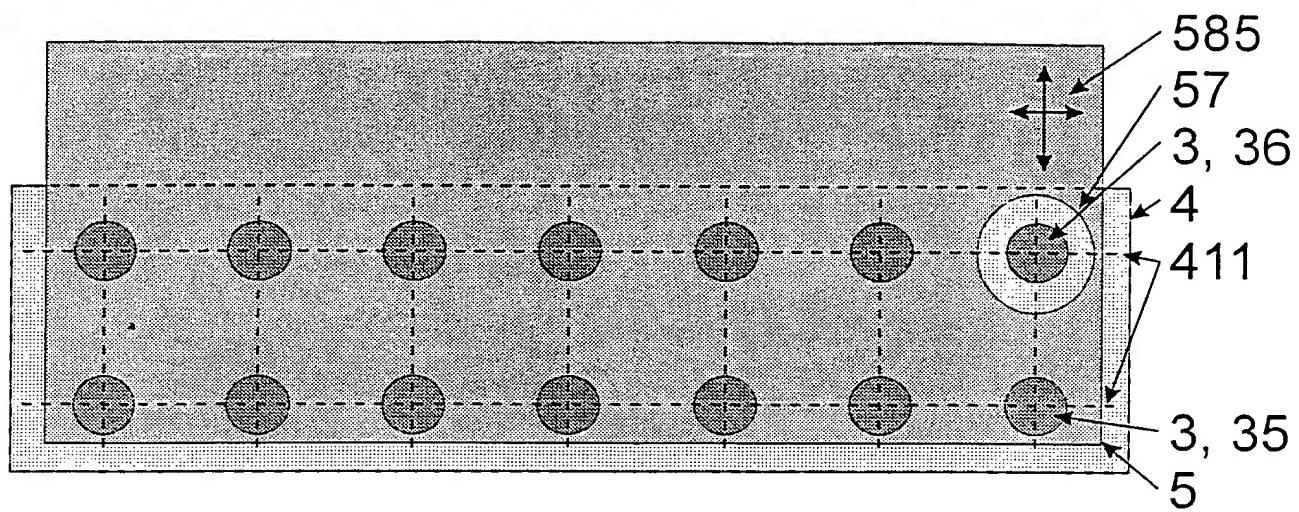


Fig. 9B

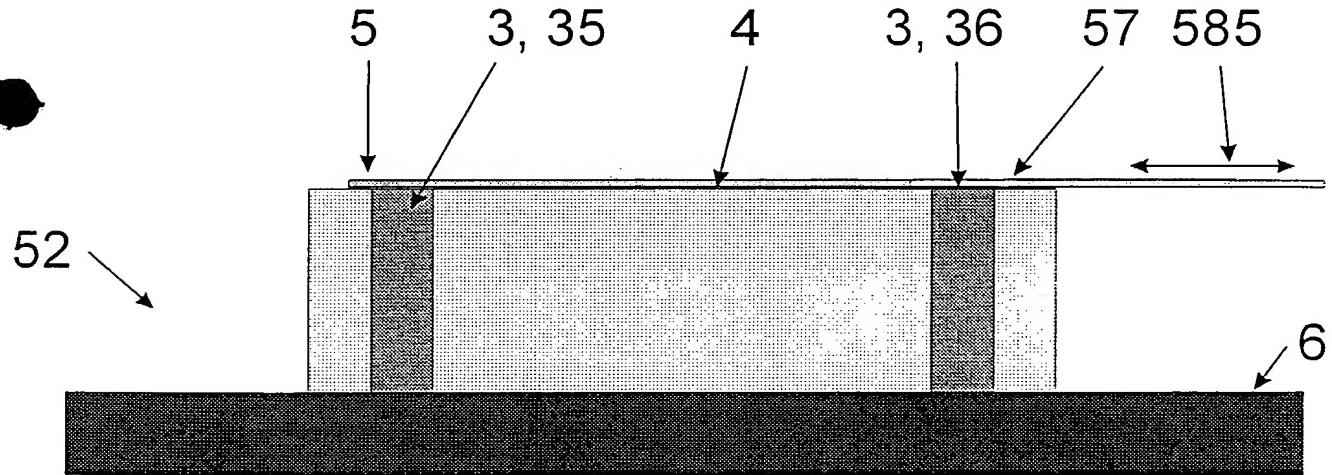


Fig. 10A

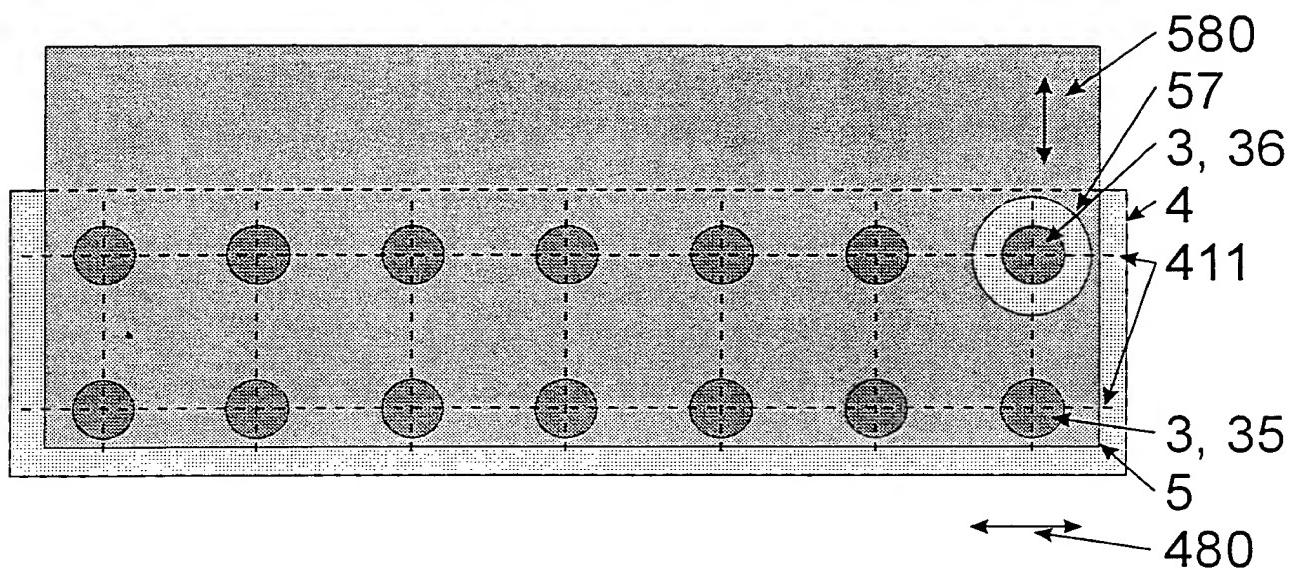


Fig. 10B

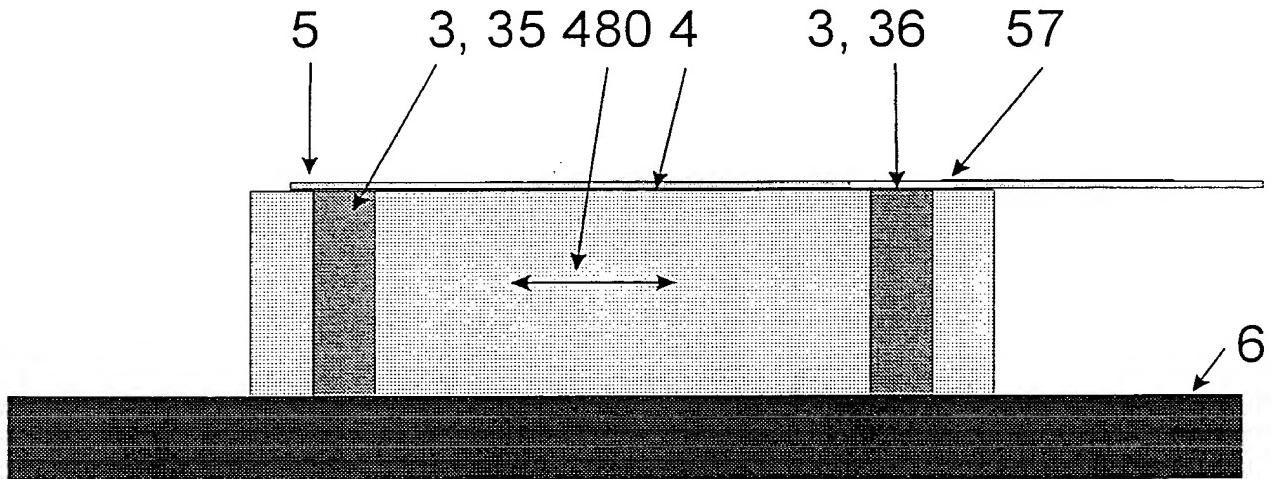


Fig. 11A

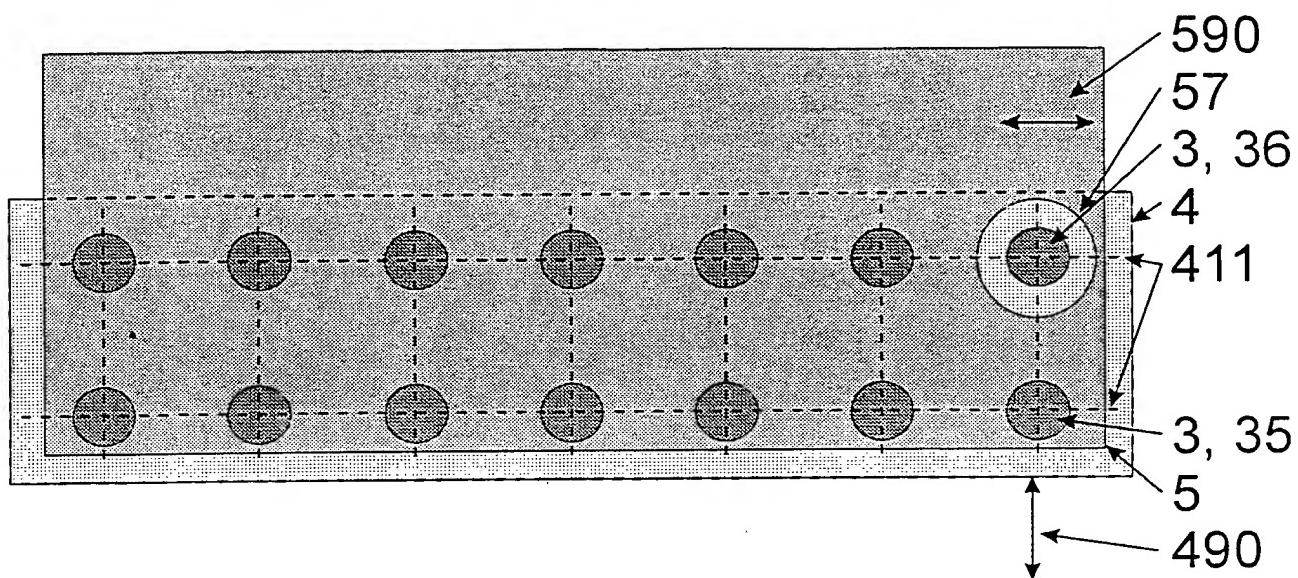


Fig. 11B

